

Научная статья

УДК 669.71

## ФОРМИРОВАНИЕ КВАЗИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ДИСПЕРСОИДОВ В СПЛАВАХ Al–Mn–Mg И Al–Mg–Cu

**Айымгул Болаткызы Мухамеджанова, Андрей Геннадьевич Мочуговский,  
Анастасия Владимировна Михайловская<sup>1</sup>**

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,  
Москва, Россия

<sup>1</sup>98\_aim@mail.ru

**Аннотация.** В работе исследованы закономерности влияния условий термической обработки на формирование квазикристаллической I-фазы в сплавах системы Al–Mn, дополнительно легированных Cu и Mg. Показано, что Cu и Mg ускоряют кинетику формирования квазикристаллических дисперсоидов и позволяют повысить их плотность распределения в объеме слитков при отжиге в интервале температур 300–350 °С. Отжиг при более высоких температурах приводит к трансформации I-фазы в кристаллическую.

**Ключевые слова:** алюминиевые сплавы, квазикристаллы, дисперсоиды, микроструктура

**Финансирование:** работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20–03–00778–21).

Original article

## THE PRECIPITATION OF QUASICRYSTALLINE DISPERSOIDS IN Al–Mn–Mg AND Al–Mn–Cu-BASED ALLOYS

**Ayymgul Bolatkyzy Mukhamedzhanova, Andrey Gennadievich Mochugovsky,  
Anastasia Vladimirovna Mikhailovskaya<sup>1</sup>**

National Research Technological University “MISIS”, Moscow, Russia

<sup>1</sup>98\_aim@mail.ru

**Abstract.** The current study focuses on the influence of heat treatment parameters on the precipitation of a quasicrystalline I-phase in Al–Mn-based alloys doped with Cu and Mg. It is demonstrated that Cu and Mg accelerate the I-phase precipitation kinetics and provide increased number density of dispersoids in a temperature range of 300–350 °C. Annealing at higher temperatures leads to a transformation of the I-phase into a crystalline phase with a rod-shaped morphology.

**Keywords:** aluminum alloys, quasicrystals, dispersoids, microstructure

**Funding:** the work was supported financially by the Russian Foundation for Basic Research (project № 20–03–00778–21).

Марганец (Mn) один из наиболее перспективных легирующих элементов в алюминиевых сплавах с точки зрения повышения механических свойств и термической стабильности структуры. Mn обладает сравнительно высокой растворимостью в Al (до 2 %) и образует аномально пересыщенные твердые растворы при сравнительно невысоких скоростях кристаллизации. Распад твердого раствора приводит к формированию дисперсоидов вторичных Mn-содержащих фаз с кристаллической решеткой  $\text{Al}_6\text{Mn}$ ,  $\text{Al}_{12}\text{Mn}$ ,  $\alpha\text{-Al}_{12}\text{Mn}_3\text{Si}$ . Помимо вышеперечисленных фаз в Mn-содержащих алюминиевых сплавах могут формироваться фазы с квазикристаллическим типом структуры (I-фаза). Формирование I-фазы является начальным этапом распада пересыщенного марганцем твердого раствора на основе алюминия и наблюдается при сравнительно низких температурах 300–400 °C. Состав сплава может оказывать влияние на параметры, стехиометрию и кинетику формирования квазикристаллов при термообработке слитков. Однако на сегодняшний день нет систематических исследований, посвященных данному вопросу.

В рамках данной работы исследованы условия и кинетика формирования квазикристаллической I-фазы при распаде пересыщенного твердого раствора в сплавах Al–Mn, Al–Mn–Mg и Al–Mn–Cu. Модельные слитки для исследования готовили при помощи лабораторной электрической печи сопротивления в графито-шамотных тиглях. Температура разливки составляла  $760 \pm 20$  °C. Разливку производили в медную водоохлаждаемую изложницу с внутренней полостью  $(100 \times 40 \times 20)$  мм<sup>3</sup>.

Показано, что выделение из пересыщенного марганцем твердого раствора на основе алюминия наноразмерных дисперсоидов I-фазы в теле зерен во время отжига при температурах 300–350 °C возмож-

но при легировании сплавов дополнительно магнием или медью. Повышение температуры отжига до 400 °С или времени до 48 часов при 350 °С приводит к трансформации наноразмерных дисперсоидов I-фазы в пластинчатые выделения фазы с кубической решеткой, а увеличение температуры до 450 °С приводит к выделению пластин фазы  $Al_6Mn$ . Медь ускоряет и кинетику распада твердого раствора, и трансформацию икосаэдрической фазы в кристаллическую. Добавка Mg не оказывает влияния на тип и химический состав квазикристаллических выделений, но обеспечивает ускорение распада с выделением высокой плотности равномерно распределенных наноразмерных дисперсоидов I-фазы в теле зерна, при этом высокая плотность выделений обнаружена преимущественно вблизи дислокаций.